



# Nutzung von Gebäuden als thermische Speicher

BMUB-Fachtagung  
Klimaschutz durch Abwärmenutzung -  
Potenziale, Hemmnisse, Strategien

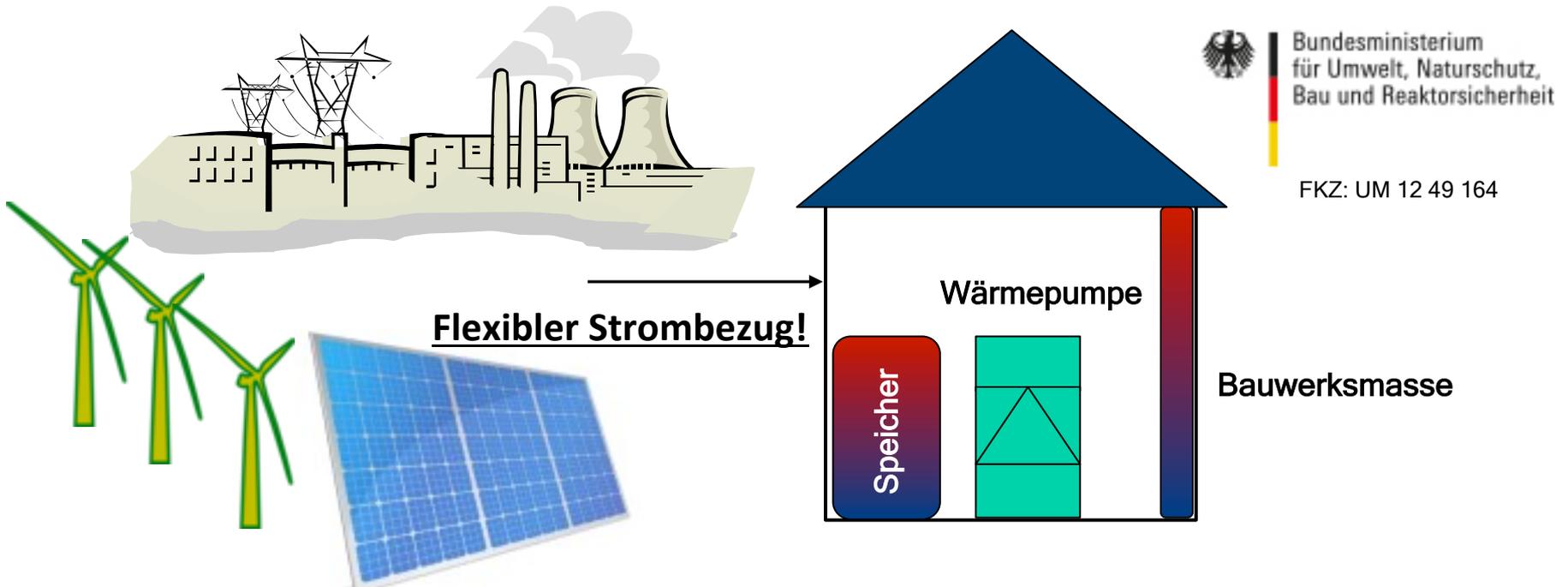
Prof. Clemens Felsmann

Berlin, 4. März 2015

## Ansatz: Thermische Energiespeicherung im Gebäude

Gebäudeseitiges Lastmanagement zur Verschiebung elektrischer Lasten durch Ausnutzung thermischer Speichereffekte.

Voraussetzung: Kopplung elektrischer und thermischer Systeme  
z.B.: Bauwerksmasse, Wärmepumpe, Elektroheizstab, Anlagenspeicher





## Nutzung Thermischer Speichereffekte im Gebäude

a) als „Leistungsspeicher“ für Regelleistung (Sekunden- und Minutenbereich) und andere netzstabilisierende Systemdienstleistungen.

b) als „Verschiebespeicher“ (Minuten bis Stunden)  
Für Ausnutzung der täglichen Differenzen zwischen Hoch- und Niedrigpreisen zur betriebswirtschaftlichen Optimierung.

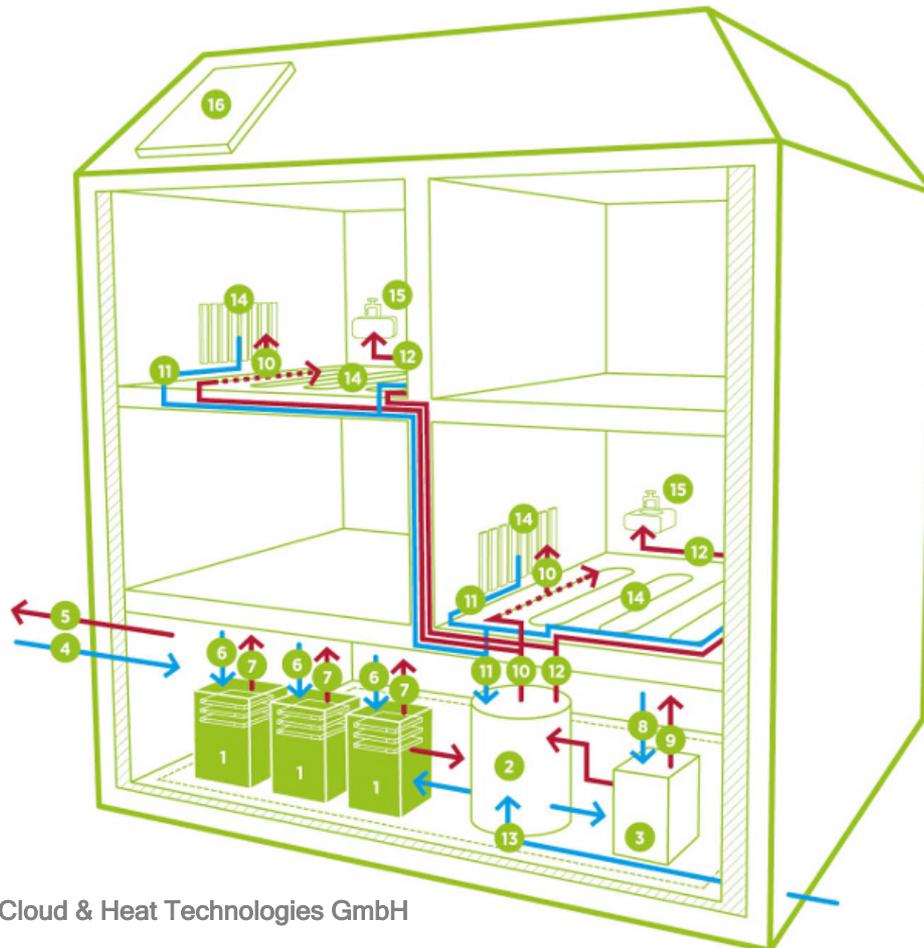
a) und b) in Anlehnung an Thesenpapier 4.EEG Dialogforum  
Voraussetzung: Umwandlung Strom in thermische Energie: direktelektrisch, WP, KM

c) als Wärmesenke für Abwärme

d) als thermischer Speicher für Abwärme

c) und d) zur Substitution anderer (fossiler) Energieträger

## Beispiel: Abwärme aus Rechenzentrum



- 1 Cloud&Heat Server
- 2 Pufferspeicher für Heizung + Warmwasseraufbereitung
- 3 Luft/Wasser Wärmepumpe
- 4 Zuluftsystem\*
- 5 Abluftsystem\*
- 6 Zuluft Cloud&Heat Server
- 7 Abluft Cloud&Heat Server
- 8 Zuluft Wärmepumpe
- 9 Abluft Wärmepumpe
- 10 Vorlauf Heizung
- 11 Rücklauf Heizung
- 12 Warmwasser
- 13 Zulauf Frischwasser
- 14 Heizungssystem
- 15 Zapfstellen Warmwasser
- 16 Photovoltaik (optional)

\*Anmerkung: auch als kontrollierte Wohnraum-  
lüftung mit Wärmerückgewinnung oder z. B. Tief-  
garagenentlüftung ausführbar

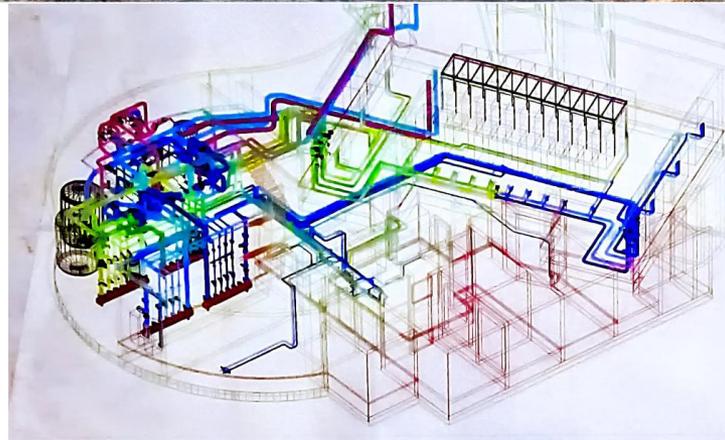
Bild: Cloud & Heat Technologies GmbH



## Beispiel: Abwärme aus Rechenzentrum



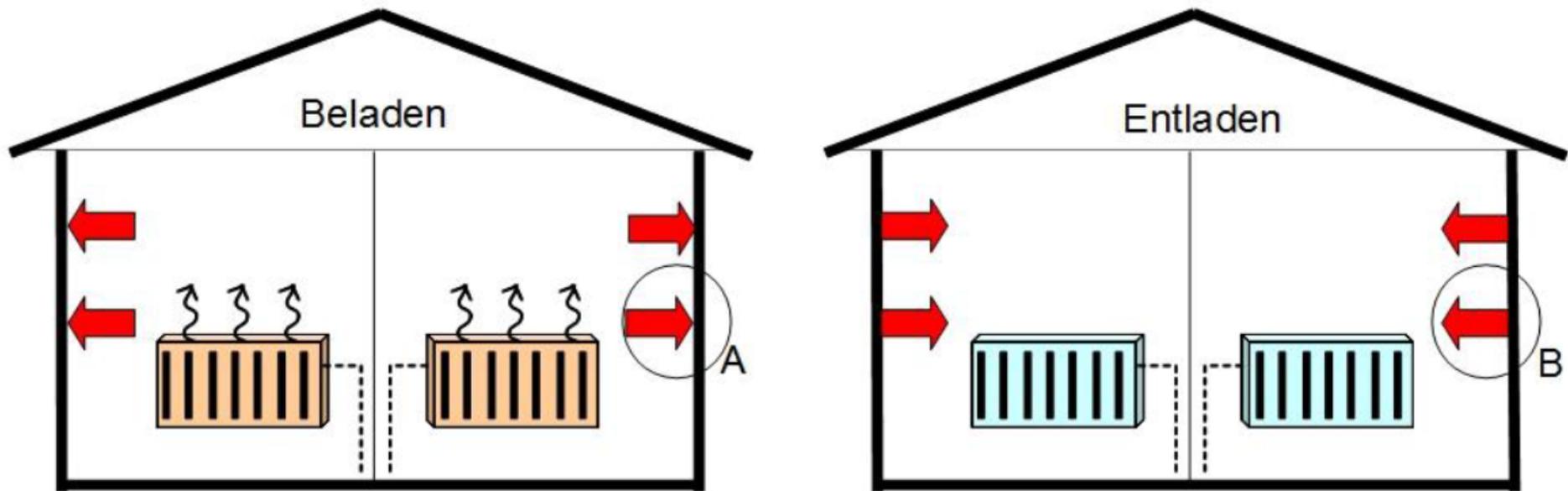
Bilder: PIK/Lindhahn



## Speicherbare Wärmemenge relevanter Speichermedien bezogen auf 1m<sup>3</sup> Medium und eine Temperaturänderung von 1 K

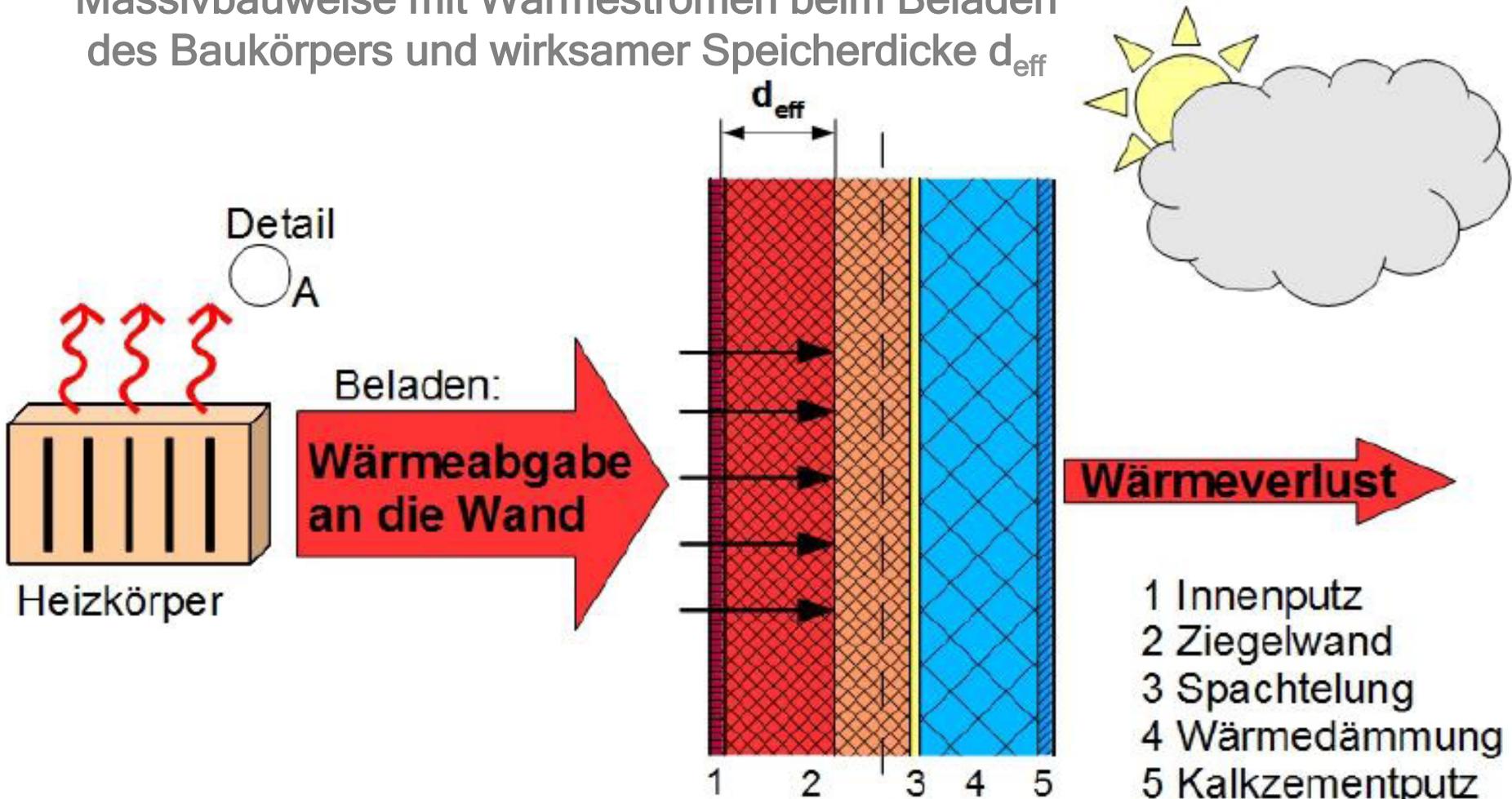
Speichermedium	Dichte	Spezifische Wärmekapazität	Speicherbare Wärmemenge	
	[kg/m <sup>3</sup> ]		[kJ/(kg K)]	[kJ/K]
Beton	2100	0,80	1680	0,467
Wasser	998	4,20	4191,6	1,164
Eis	917	2,06	1889,0	0,525
Phasenwechsel	Eis → Wasser Schmelzenthalpie: 333,5 kJ/kg bzw. 0,093 kWh/kg			

## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse indirekt



→ Be- und Entladen des thermischen Gebäudespeichers  
bei mittelbarer Ankopplung des Baukörpers (Speichermasse) an die Wärmequelle

## Querschnitt durch eine Außenwand in Massivbauweise mit Wärmeströmen beim Beladen des Baukörpers und wirksamer Speicherdicke $d_{eff}$



## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse indirekt

Nur ein Teil der Bauwerksmasse ist für die thermische Speicherung relevant. Die maximal wirksame Speicherdicke ist abhängig von der Zyklusdauer der Temperaturwechsel („Eindringtiefe“).

Einfache Abschätzung nach DIN EN 13786.

Außerdem kann sie maximal:

- die Hälfte der Gesamtdicke des Bauteils ausmachen bzw.
- geht nur bis zur ersten Wärme dämmenden Schicht.

Mit der wirksamen Wärmekapazität:

$$\chi_m = \sum_i \rho_i d_i c_i$$

Berechnung der speicherbaren Wärmemenge:

$$Q = C_{\text{wirk}} \cdot \Delta T = \chi_m \cdot A \cdot \Delta T$$

- Welche Materialien?
- Welche Zyklusdauer?
- Welche Temperaturänderungen?
- Latente Effekte in PCMs?
- Wirkungsgrad?

## Wohngebäude - Klassifizierung :

<b>Wohngebäude</b>										
<b>Typische Baustoffe</b>										
	<b>bis 1858</b>	<b>1859 bis 1948</b>		<b>1949 bis 1968</b>		<b>1969 bis 1994</b>			<b>1995 bis 2009</b>	
	Kalkputz, Holzfachwerk mit Lehmfüllung, Sandstein, Sandbett	Kalk- und Kalkzementputz, Voll- und Mauerziegel, Holzdielen, Schlackenschüttung und Ortbeton		Gips- und Kalkgipsputz, Mauer- und Hochlochziegel, Bimsvollsteine, zunächst Schlackenschüttung und Ortbeton, später Zementestrich und Stahlbeton		Kalk- und Kalkzementputz, Hochlochziegel, Stahlbeton, Zementestrich, Kalksandstein, später auch Porenbetonsteine			Kalkputz, Kalksandstein, Estrich, Porenbeton, Gipskartonplatten	
<b>BAK</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>J</b>
	<b>Wirksames Speichervermögen durch indirekte Aktivierung der Baukörperspeichermassen über die Raumluft in Abhängigkeit von der Periodendauer der Temperaturschwankung [kWh/m<sup>2</sup>K]</b>									
1h: 20 mm	<b>0,032</b>	<b>0,031</b>		<b>0,035</b>		<b>0,033</b>			<b>0,033</b>	
2h: 28 mm	<b>0,038</b>	<b>0,041</b>		<b>0,045</b>		<b>0,040</b>			<b>0,038</b>	
4h: 40 mm	<b>0,050</b>	<b>0,055</b>		<b>0,062</b>		<b>0,061</b>			<b>0,056</b>	
6h: 50 mm	<b>0,059</b>	<b>0,067</b>		<b>0,076</b>		<b>0,074</b>			<b>0,067</b>	
12h:70 mm	<b>0,077</b>	<b>0,092</b>		<b>0,103</b>		<b>0,091</b>			<b>0,079</b>	

## Thermische Aktivierung der Bausubstanz

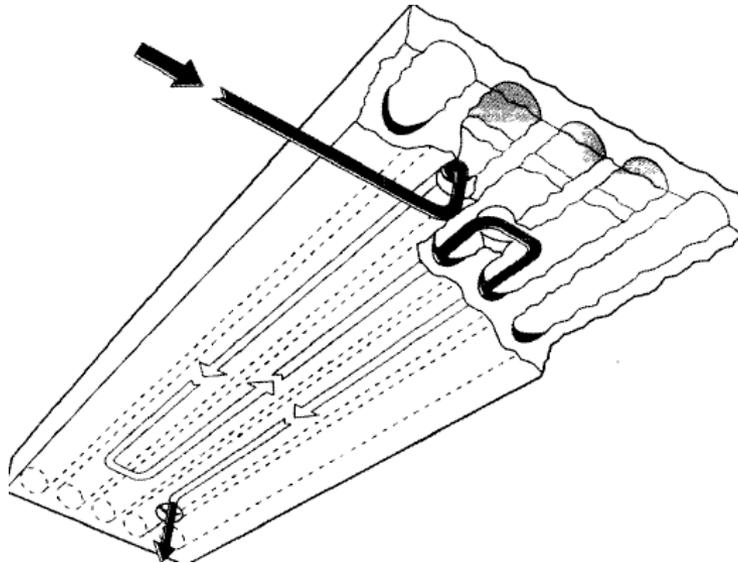
Art der Aktivierung								
Wasser basierte Systeme			Luft basierte Systeme			Strom basierte Systeme / Elektrische Widerstandsheizung		
Heizkörper	TABS		Heizkörper	TABS		Speicher- heizung	Direktheizung	
	Oberflächen- nah	Bauteil- integriert		Oberflächen- nah	Bauteil- integriert		Oberflächen- nah	Konvektion/ Strahlung

- Wie viel m<sup>2</sup> TABS sind in deutschem Gebäudebestand verbaut?
- Nachrüstung sinnvoll? (z.B. Kapillarrohrmatten)

## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse direkt

→ Thermisch aktivierte Bauteilsysteme (TABS, BKA, BTA)

- Luft und wasserbasierte Systeme (Decke, Wand, Fußboden)
- Heizung und Kühlung



G. Braham: Mechanical Ventilation and Fabric Thermal Storage; Indoor Built Environment, 2000;9, 102-110)

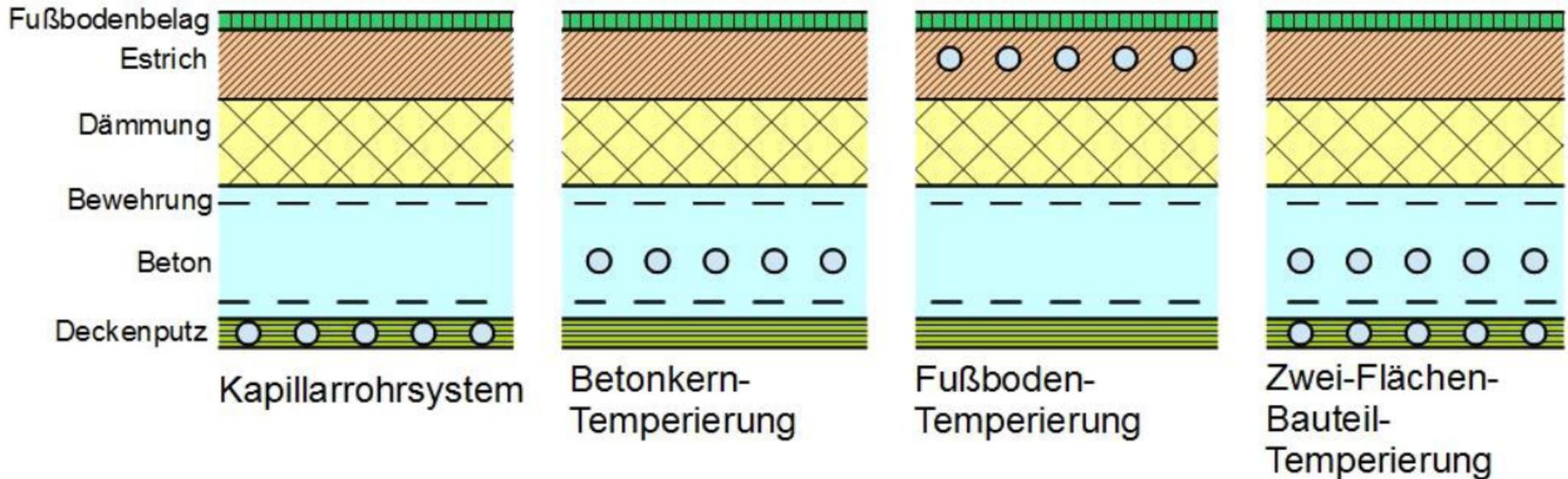


Kalz/Pfaffenrott/Herkel; Fraunhofer ISE 2009

## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse direkt

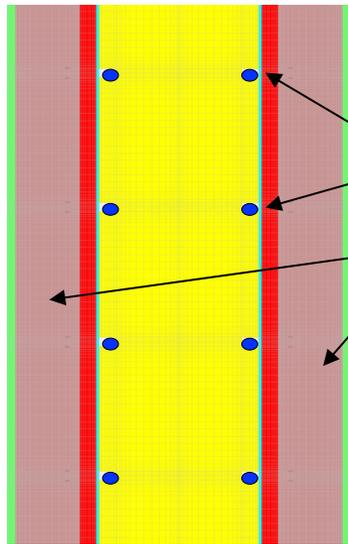
Anwendung beispielhaft

- Lastverschiebung
- Nutzung natürlicher Potentiale (z.B. Nachtlüftung)



Aufbau verschiedener Bauteil aktivierender Systeme

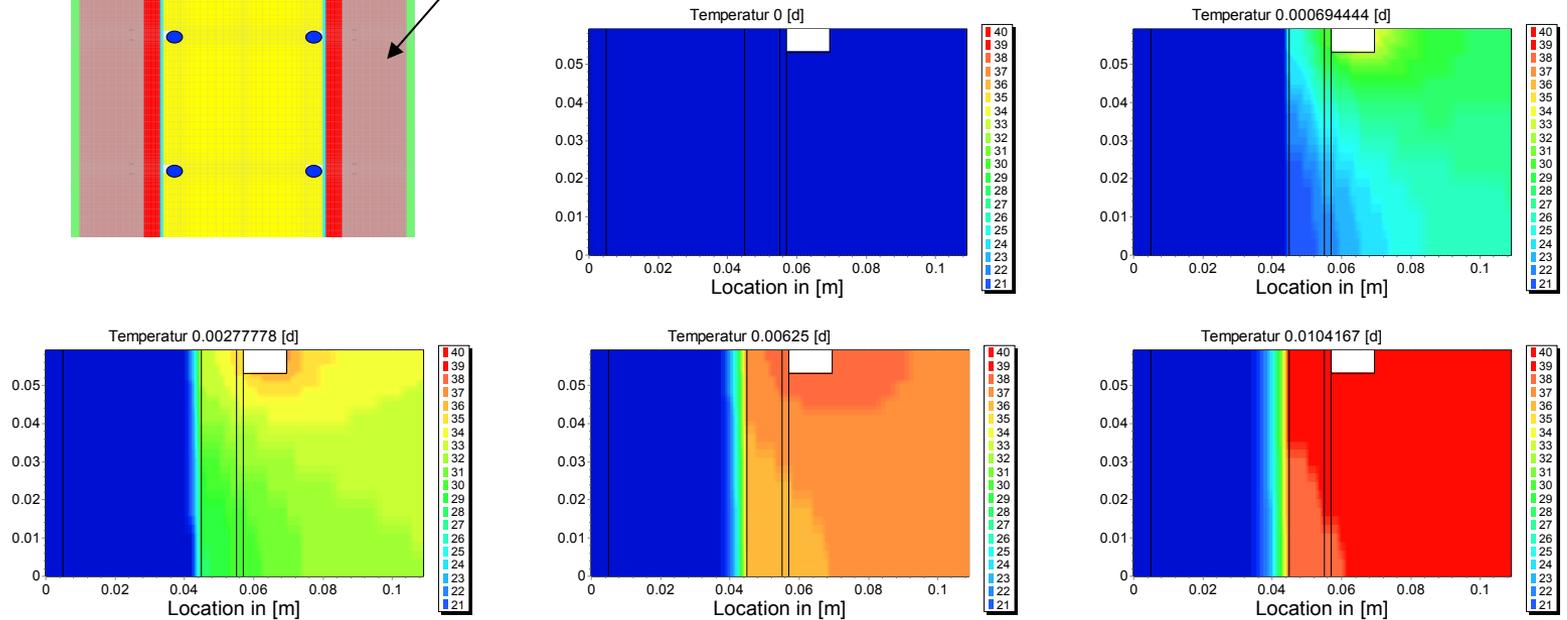
# Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse direkt



Beispiel:  
 Aktivierung gedämmter Wandkonstruktionen

Rohrleitung

Wärmedämmung

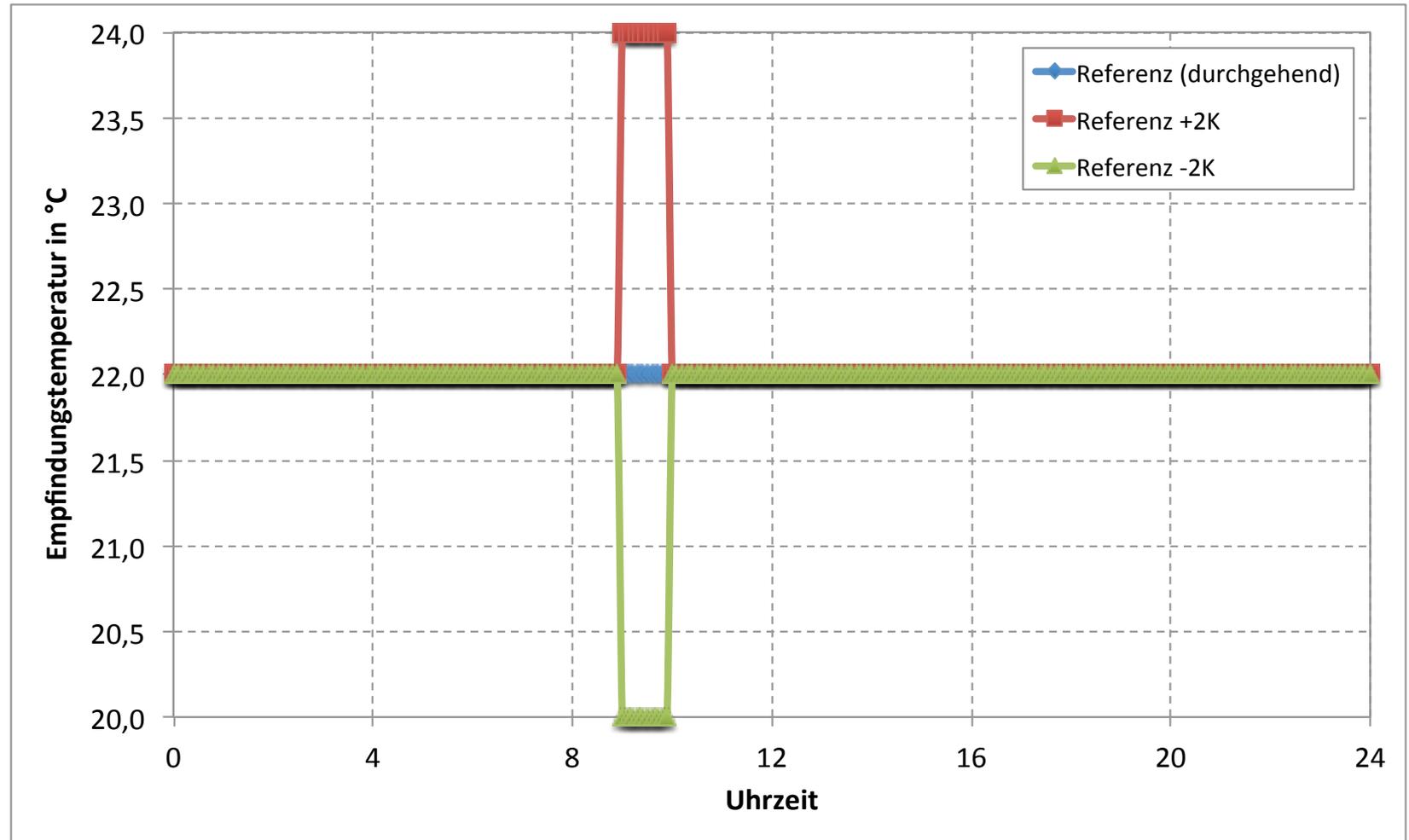


## Wohngebäude - Speicherpotenzial Bausubstanz im Einzelgebäude

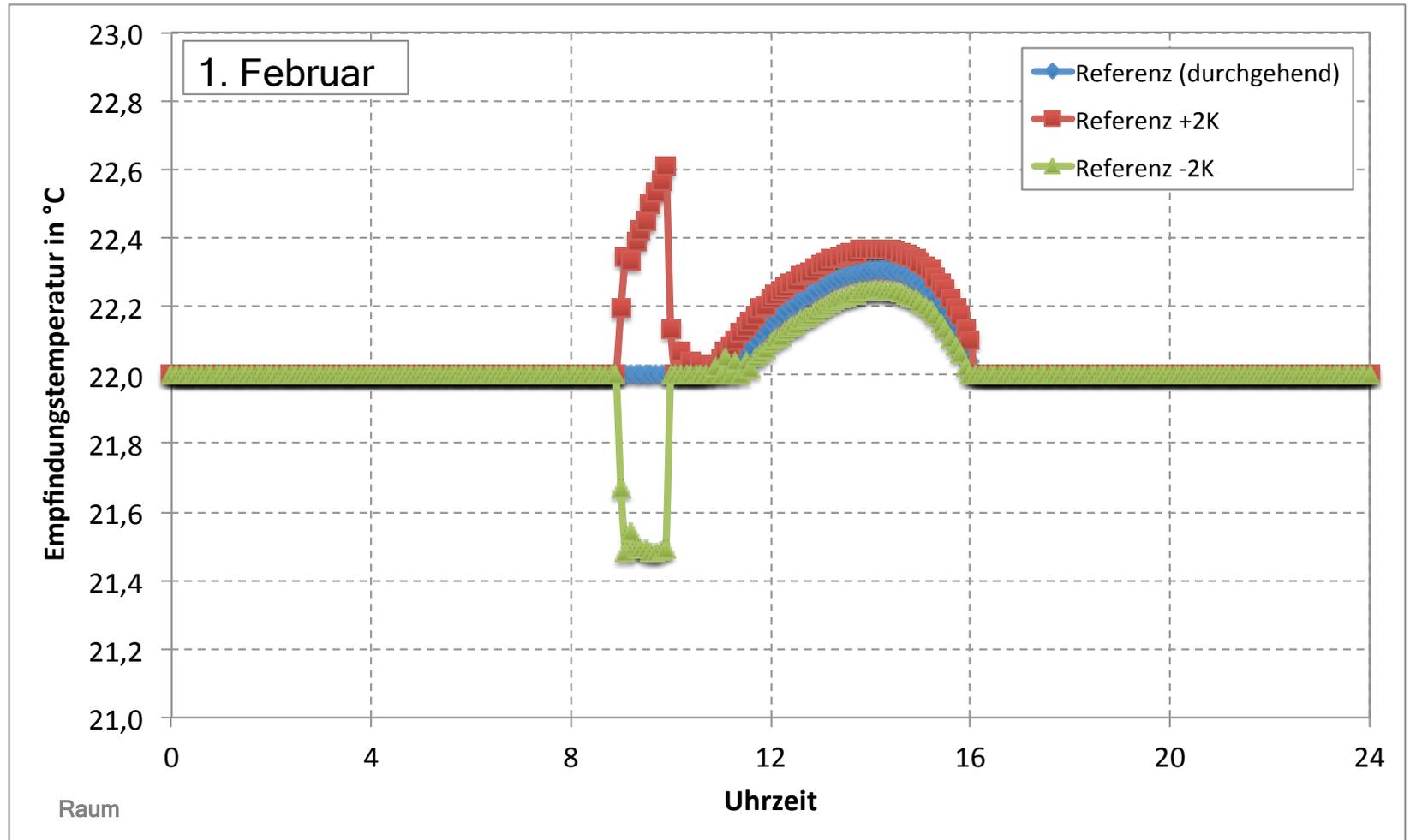
Einfache Abschätzung und Potenzialanalyse unter Berücksichtigung von:

- Konkreten Gebäudedaten (Bauphysik)
  - Anlagentechnik (Auswirkungen der Betriebsweise auf Auslegung und Effizienz)
  - Endenergieverbrauch (Kopplung thermische-elektrische Bilanz)
- Einbindung in Planung und/oder Energieberatung

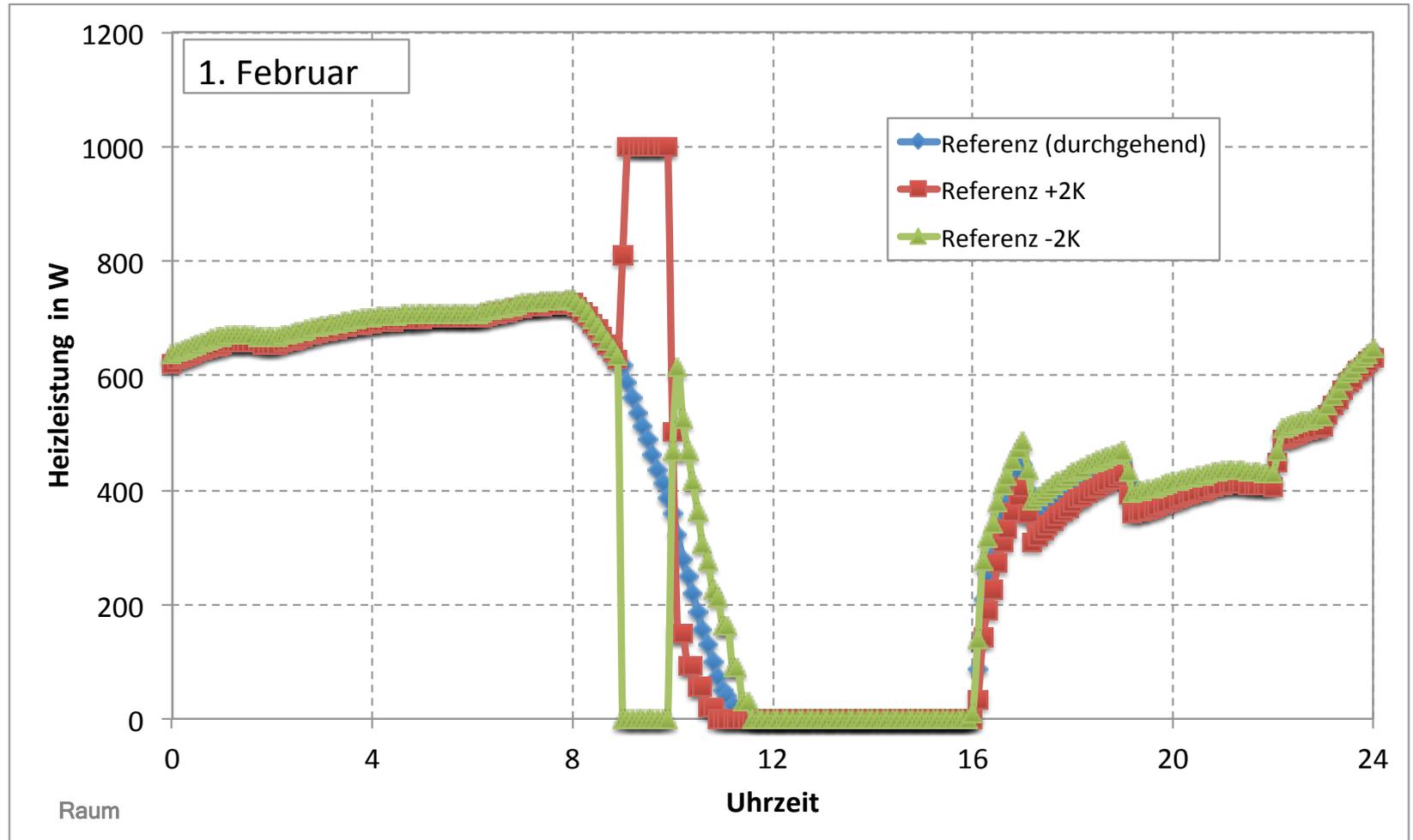
## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse indirekt



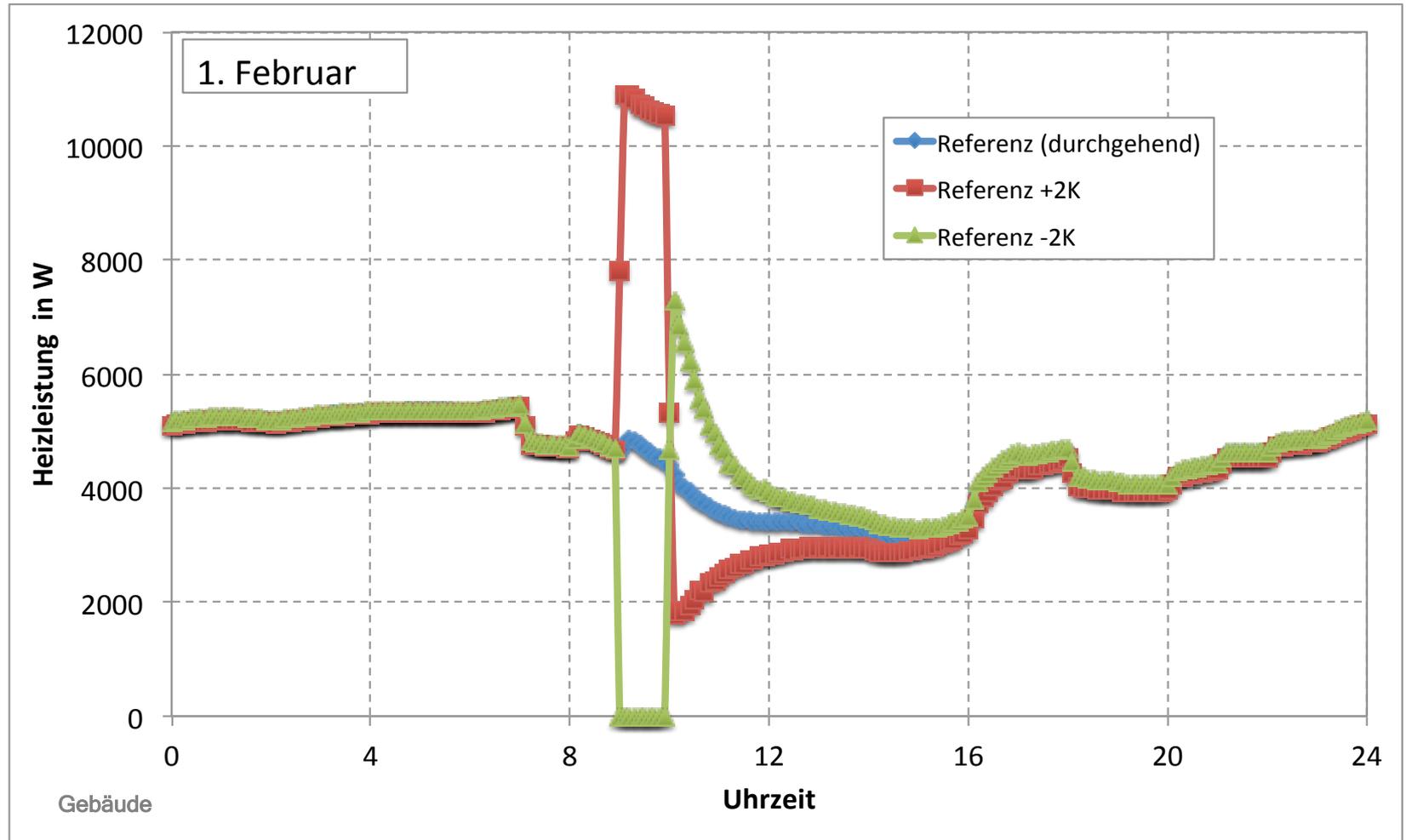
## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse indirekt



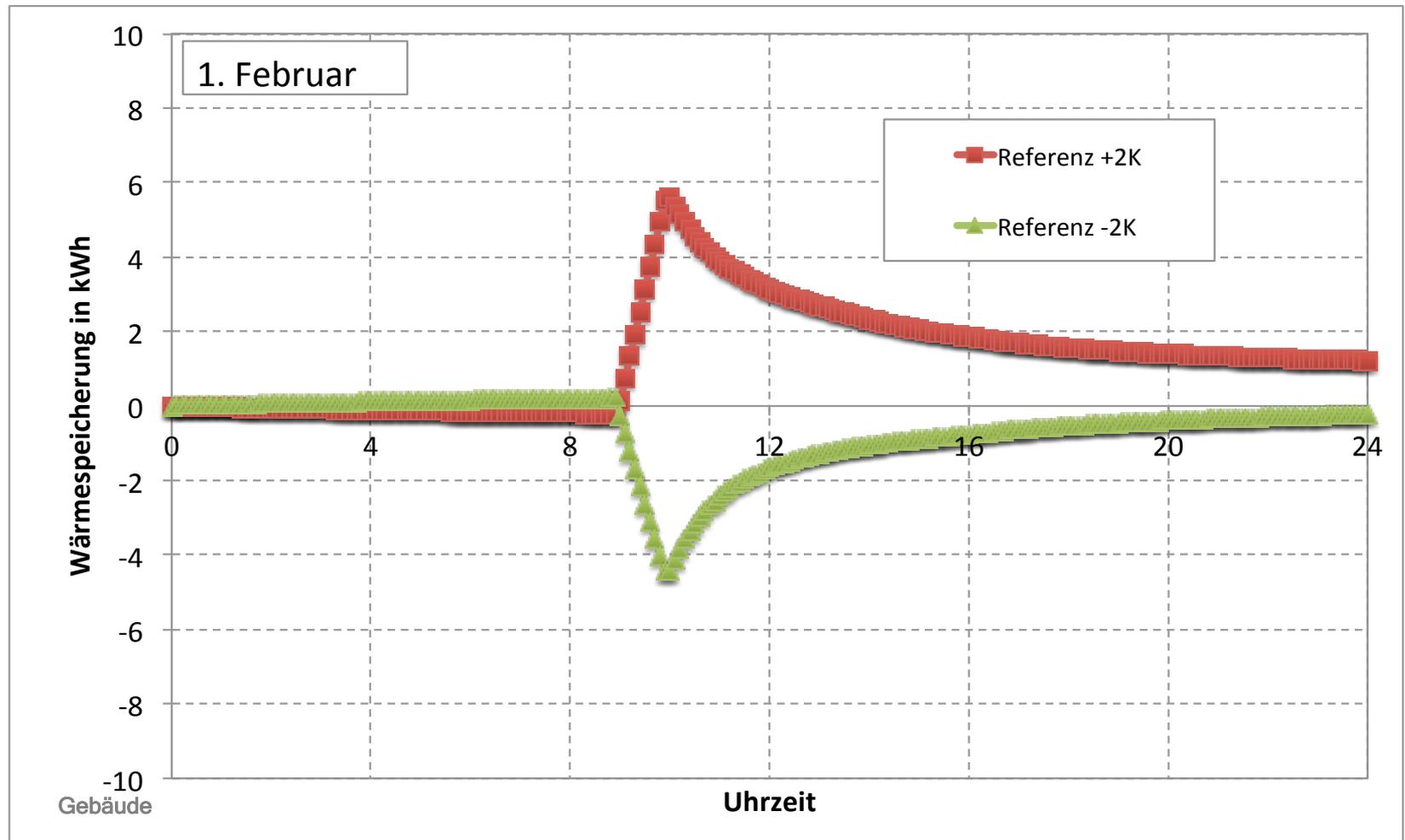
## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse indirekt



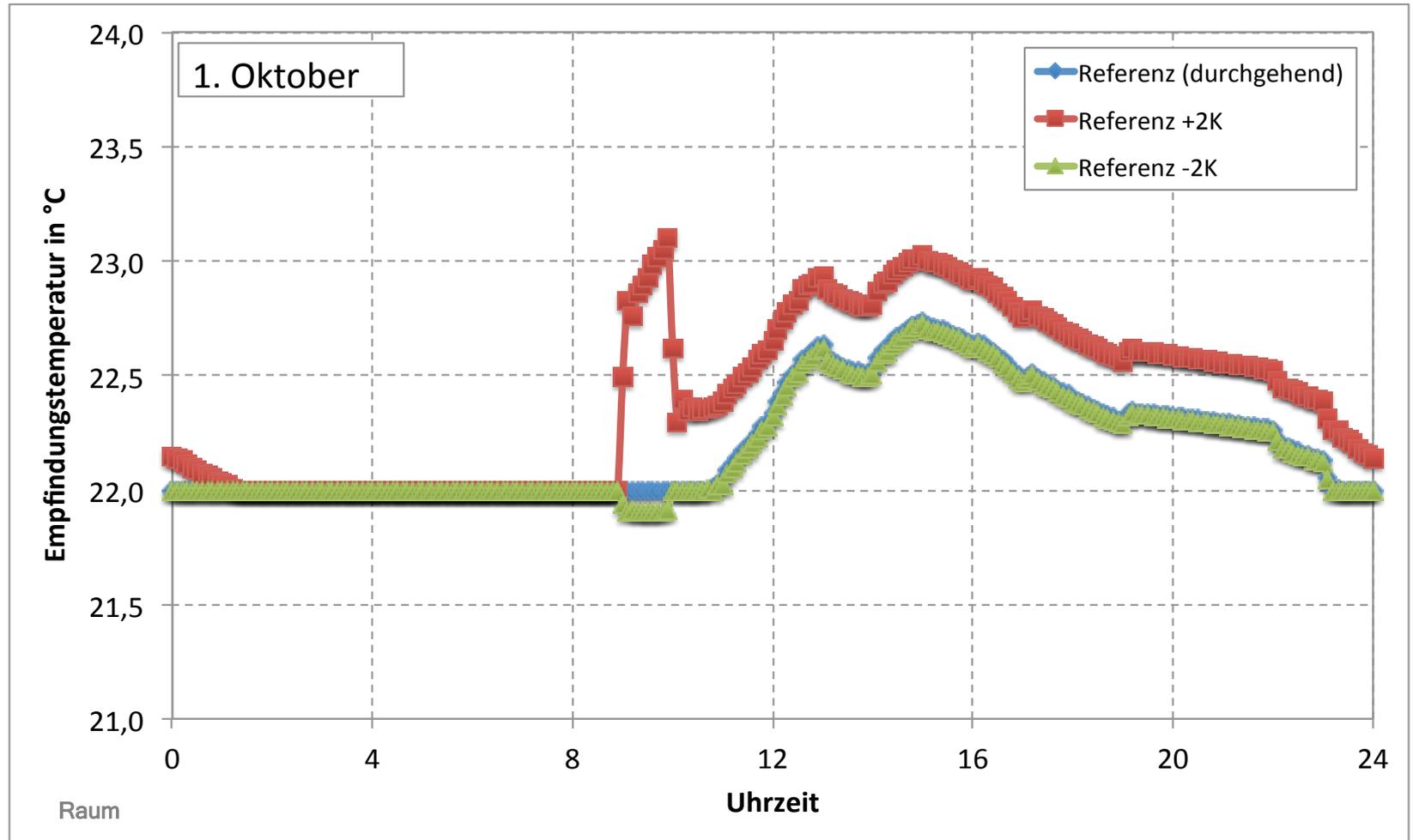
## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse indirekt



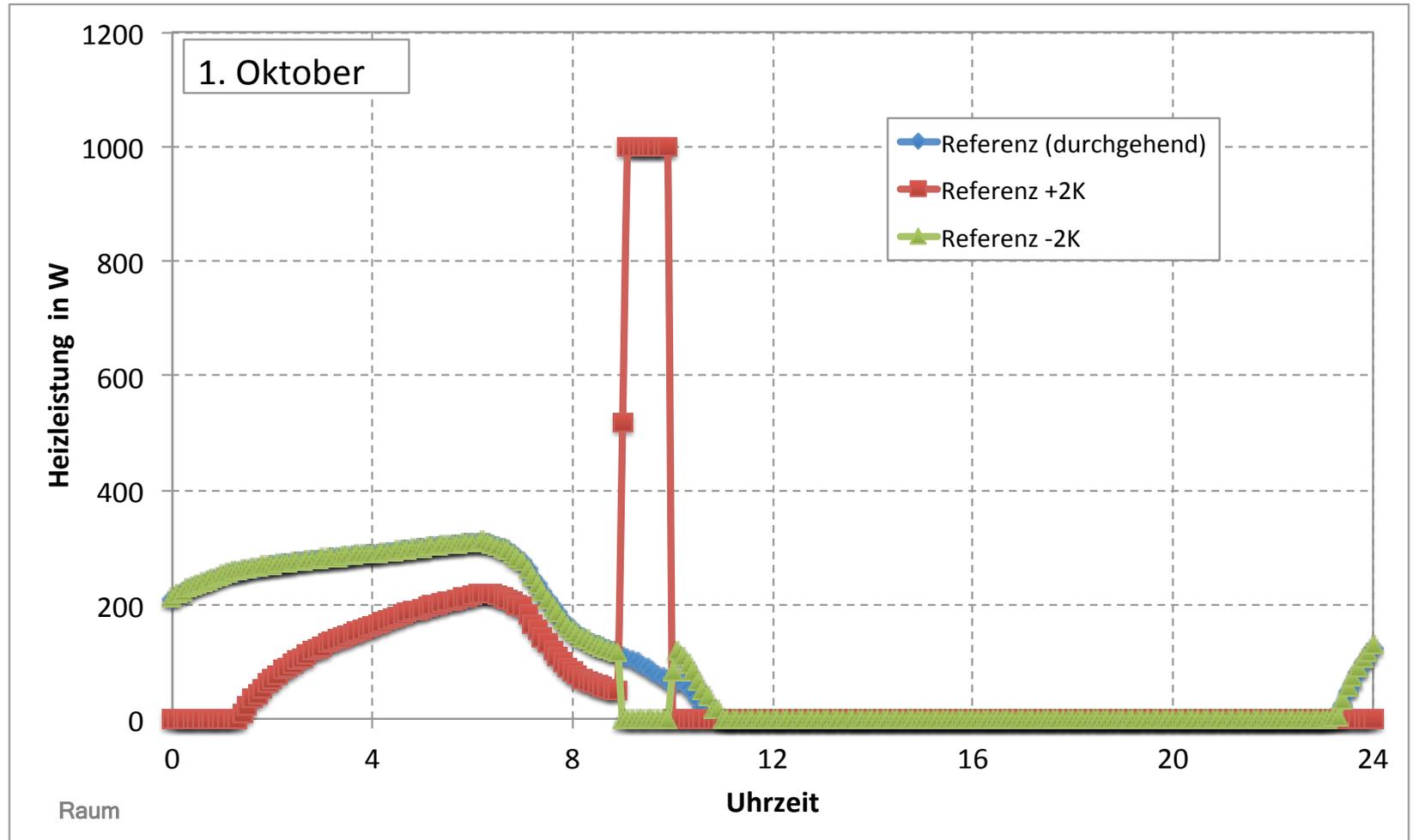
## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse indirekt



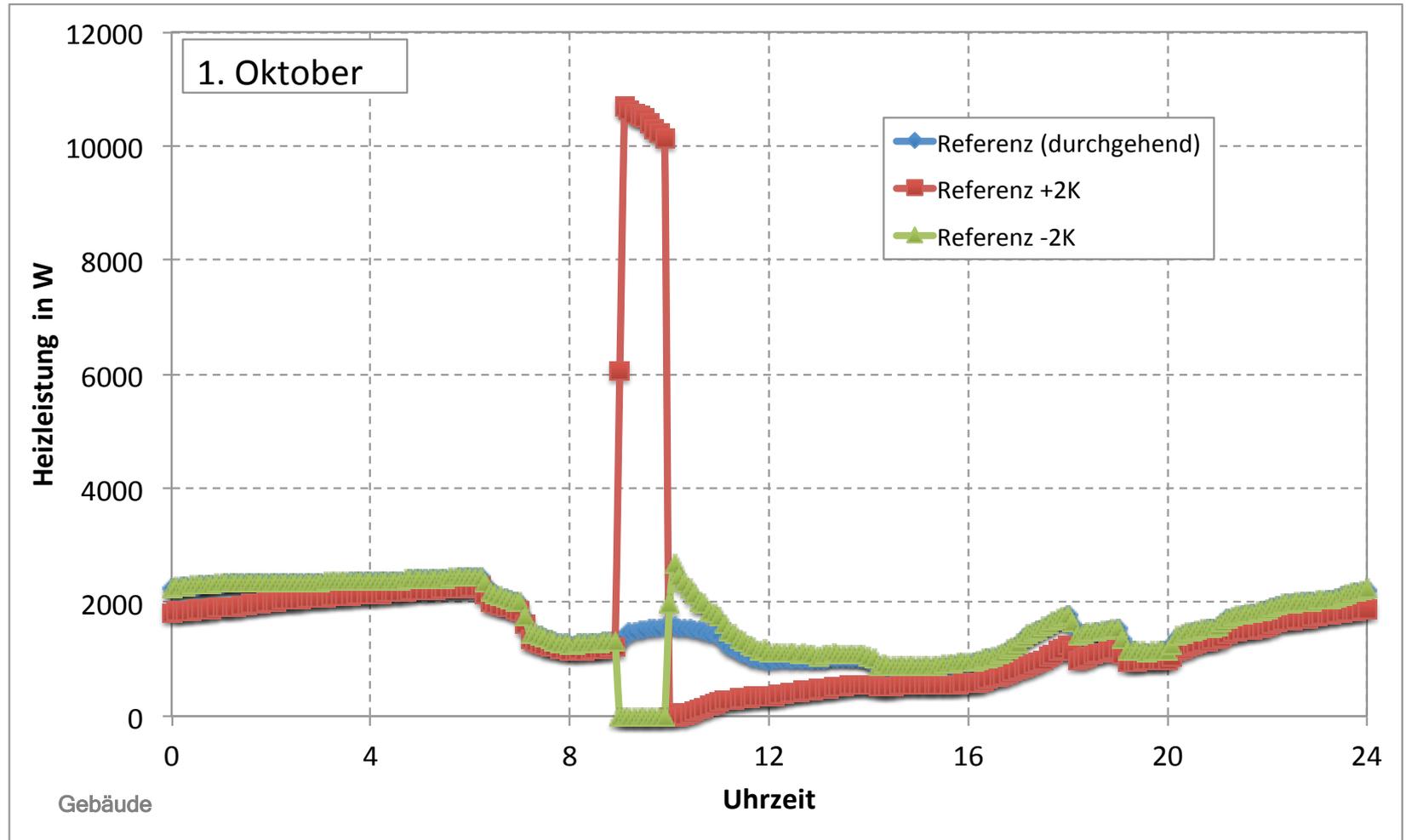
## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse indirekt



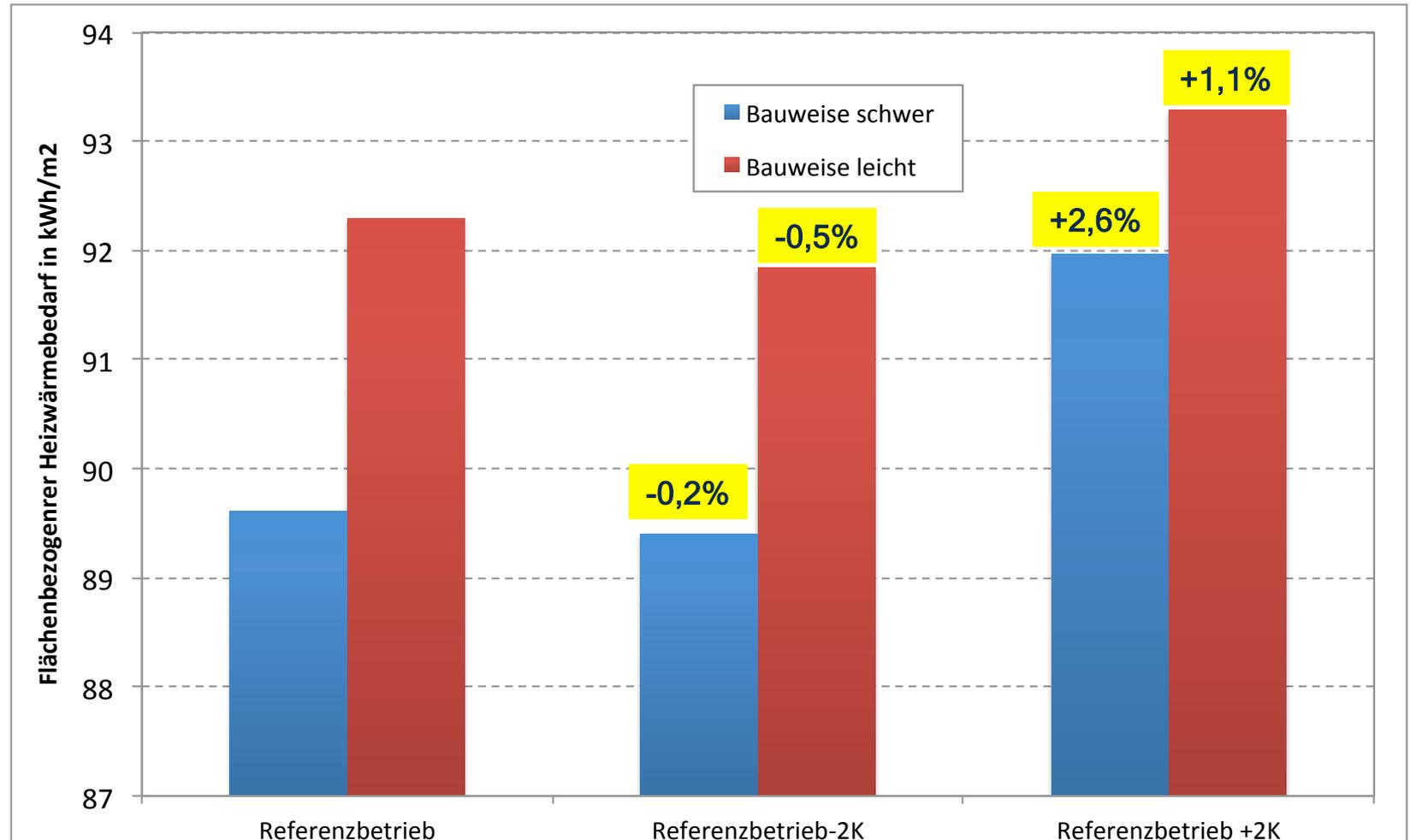
## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse indirekt



## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse indirekt



## Nutzung der Gebäudekonstruktion / Bauwerksmasse indirekt



## Nichtwohngebäude - Speicherpotenzial Schwimmbäder

<b>Schwimmbäder:</b>	<b>Hallenbäder</b>	<b>Freibäder</b>
Anzahl	3818	2981
Gesamtwasservolumen	1.666.119 m <sup>3</sup>	5.197.157 m <sup>3</sup>
Speicherpotenzial	0,002 TWh/K	0,008 TWh/K

### Randbedingungen:

<b>Randbedingung</b>	<b>Hallenbäder</b>	<b>Freibäder</b>
Temperaturbereich Wasser	8 K (25 bis 33 °C)	6 K (24 bis 30 °C)
Spezifische Wärmekapazität	4200 J/(kg K)	4200 J/(kg K)
Dichte von Wasser	995,9 kg/m <sup>3</sup> (bei 29 °C)	996,5 kg/m <sup>3</sup> (bei 27 °C)
Mittlere Wassertiefe	1,35 m	1,35 m

## Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung

Leiter der Professur Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann  
clemens.felsmann@tu-dresden.de

Sekretariat:           Tel.:           +49 351 463-32145  
                              Fax:           +49 351 463-37076  
                              E-Mail:       ensys@mailbox.tu-dresden.de



**»Wissen schafft Brücken.«**